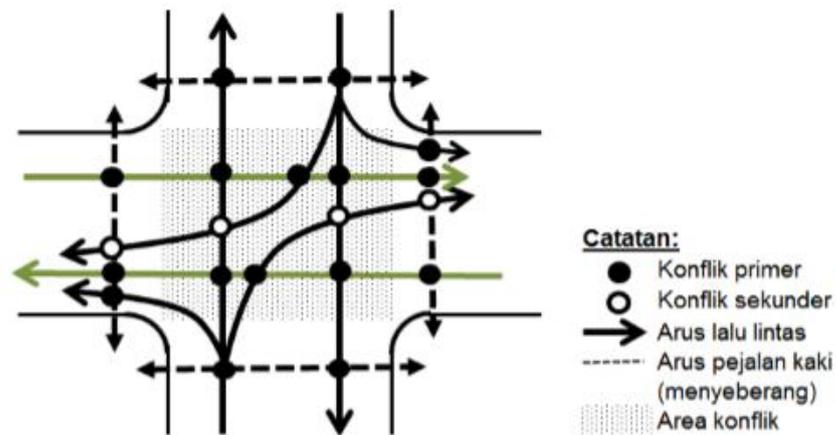


## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### A. Prinsip Simpang APILL (Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas)

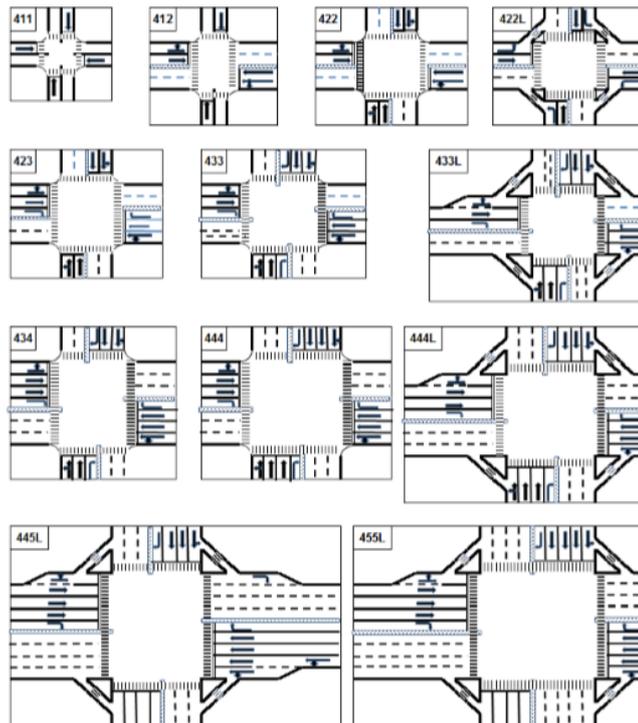
Prinsip APILL adalah dengan cara meminimalkan konflik baik konflik primer maupun konflik sekunder. Konflik primer adalah konflik antara dua arus lalu lintas yang saling berpotongan, dan konflik sekunder adalah konflik yang terjadi dari arus lurus yang melawan atau arus membelok yang berpotongan dengan arus lurus atau pejalan kaki yang menyeberang (PKJI, 2014).



Gambar 3.1 Konflik primer dan konflik sekunder pada simpang APILL dengan 4 lengan  
(Sumber: PKJI, 2014)

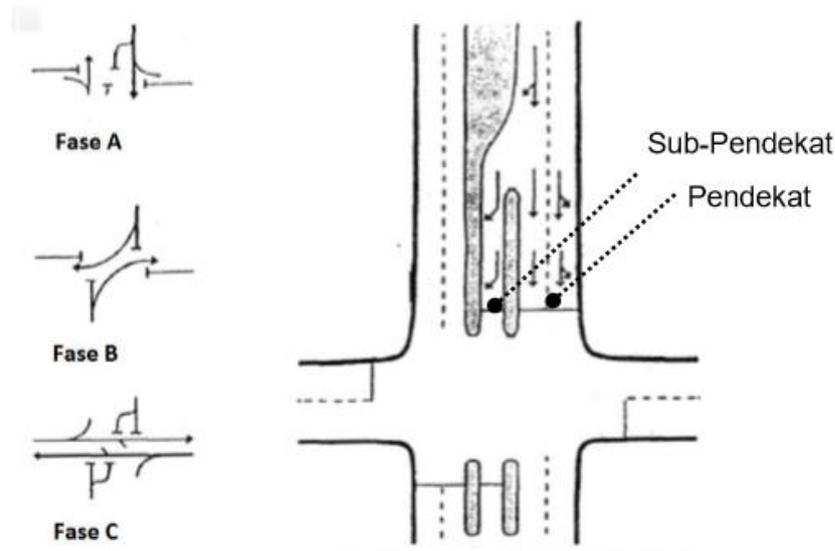
#### B. Tipikal Simpang APILL

Menurut PKJI (2014) persimpangan harus merupakan pertemuan dua atau lebih jalan yang sebidang. Pertemuan dapat berupa simpang-3 atau simpang-4 dan dapat merupakan pertemuan antara tipe jalan 2/2TT, tipe jalan 4/2T, tipe jalan 6/2T, tipe jalan 8/2T, atau kombinasi dari tipe-tipe jalan tersebut.



Gambar 3.2 Tipikal geometri simpang 4  
(Sumber: PKJI, 2014)

Satu lengan simpang dapat terdiri dari satu pendekat atau lebih (menjadi dua atau lebih sub-pendekat termasuk pengaturan fasenya). Hal ini terjadi jika gerakan belok kanan dan/atau belok kiri mendapat isyarat hijau pada fase yang berlainan dengan lalu lintas yang lurus, atau jika dipisahkan secara fisik oleh pulau-pulau jalan. Untuk masing-masing pendekat atau subpendekat, lebar efektif ( $L_E$ ) ditetapkan dengan mempertimbangkan lebar pendekat pada bagian masuk simpang dan pada bagian keluar simpang.



Gambar 3.3 Pendekat dan subpendekat  
(Sumber: PKJI, 2014)

### C. Pengaturan Lampu Lalu Lintas (APILL)

Koordinasi atau pengaturan lampu lalu lintas dalam hal ini juga dapat disebut sinyal pada persimpangan dalam manajemen lalu lintas sangat penting artinya dan besar dampaknya terhadap arus lalu lintas. Pengaturan lampu lalu lintas berupa pengaturan waktu hijau (*green time*), waktu antar hijau (*intergreen*), waktu kuning (*amber time*), dan waktu siklus (*cycle time*). Sedangkan koordinasi lampu lalu lintas berupa koordinasi awal waktu hijau antara lampu lalu lintas pada suatu persimpangan dengan awal waktu hijau pada persimpangan waktu hijau berikutnya, sehingga sebagian besar kendaraan dapat melewati persimpangan tanpa berhenti. Adapun lampu lalu lintas secara umum mempunyai dampak positif dari segi keamanan lalu lintas, kapasitas jalan, ekonomi, dan lingkungan (Munawar, 2009).

Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997) menjelaskan bahwasanya sinyal (APILL) digunakan dengan alasan sebagai berikut:

1. Untuk menghindari kemacetan sebuah simpang oleh arus yang berlawanan, sehingga kapasitas simpang dapat dipertahankan selama keadaan lalu lintas puncak.
2. Untuk mengurangi jumlah kecelakaan yang disebabkan tabrakan antara kendaraan - kendaraan yang berlawanan arah. Pemasangan sinyal dengan

alasan keselamatan umumnya diperlukan bila kecepatan kendaraan yang mendekati simpang sangat tinggi atau jarak pandang terhadap gerakan - gerakan yang berlawanan tidak memadai yang disebabkan oleh bangunan atau tumbuh - tumbuhan yang dekat pada sudut - sudut simpang.

3. Untuk mempermudah menyeberangi jalan utama bagi kendaraan dan atau pejalan kaki dari jalan minor.

#### **D. Variabel Penting pada Simpang APILL**

Adapun variabel dan faktor penting pada simpang APILL sebagai berikut:

##### 1. Kapasitas

Menurut PKJI (2014) kapasitas ialah arus lalu lintas total maksimum yang masuk ke simpang yang dapat dipertahankan selama waktu paling sedikit satu jam dalam kondisi cuaca dan geometrik yang ada pada saat itu (eksisting), dalam satuan kend/jam atau skr/jam dan untuk meningkatkan kapasitas, arus keberangkatan dari satu pendekat dapat memiliki arus terlawan dan arus terlindung pada fase yang berbeda khusus pada kondisi dimana arus belok kanan pada lengan pendekat yang berlawanan arah sangat banyak, sehingga berpotensi menurunkan kapasitas dan/atau menurunkan tingkat keselamatan lalu lintas di simpang. Analisis kapasitas untuk Simpang APILL eksisting atau yang akan ditingkatkan harus mempertahankan  $D_1 \leq 0,85$ ; dan mempertimbangkan dampaknya terhadap keselamatan, kelancaran lalu lintas, dan lingkungan jalan.

##### 2. Volume

Volume merupakan jumlah kendaraan yang berada pada ruas atau persimpangan selama satu interval waktu tertentu. Volume atau jumlah kendaraan ini nantinya akan dikonversi menggunakan nilai ekivalen kendaraan ringan (ekr) untuk masing-masing pendekat terlindung dan terlawan dan menjadi satuan skr/jam. Faktor konversi berbagai jenis kendaran ini dibandingkan dengan kendaraan ringan yang lain sehubungan dengan dampaknya pada kapasitas jalan. Adapun tabel faktor ekivalen kendaraan ringan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Ekvivalen kendaraan ringan

Jenis Kendaraan	Ekr untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
KB	1,30	1,00
KR	1,00	1,30
SM	0,15	0,40

(Sumber: PKJI, 2014)

### 3. Panjang Antrian

Menurut PKJI (2014) panjang Antrian adalah panjang antrian kendaraan yang mengantri di sepanjang pendekat (m).

### 4. Tundaan

Menurut PKJI (2014) tundaan ialah waktu tempuh tambahan yang digunakan pengemudi untuk melalui suatu simpang apabila dibandingkan dengan lintasan tanpa simpang. Ada dua macam tundaan, yakni:

- a. Tundaan geometrik ialah tundaan yang disebabkan oleh perlambatan dan percepatan kendaraan yang membelok di simpang dan/atau yang terhenti oleh lampu merah
- b. Tundaan lalu Lintas adalah waktu menunggu yang disebabkan oleh interaksi lalu lintas dengan gerakan lalu lintas yang berlawanan

### 5. Derajat Kejenuhan

Derajat Kejenuhan adalah rasio arus lalu lintas terhadap kapasitas untuk suatu pendekat. Derajat Kejenuhan yang dianjurkan yakni  $\leq 0,85$ , tetapi umumnya juga lebih tinggi dari 0,85. Ini berarti bahwa arus lalu lintas pada simpang tersebut mendekati arus jenuhnya dan akan menyebabkan antrian panjang pada kondisi lalu lintas puncak (PKJI, 2014).

### 6. Waktu Siklus

Menurut PKJI (2014) waktu Siklus (*cycle time*) adalah waktu untuk urutan lengkap isyarat APILL, misal waktu diantara dua permulaan hijau yang berurutan pada suatu pendekat (detik).

Munawar (2009) menjelaskan waktu siklus (*cycle time*) ialah waktu satu periode lampu lalu lintas, misalnya pada saat suatu arus diruas jalan A mulai hijau, hingga pada ruas jalan tersebut mulai hijau lagi.

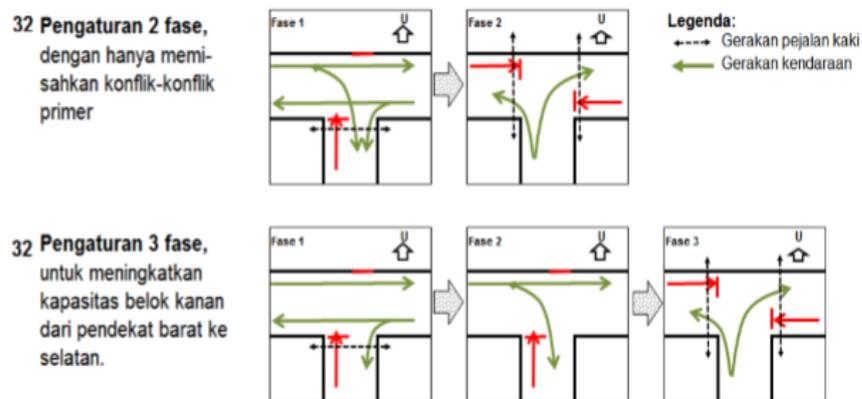
Tabel 3.2 Waktu siklus yang layak

Tipe Pengaturan	Waktu Siklus yang Layak (detik)
Pengaturan dua-fase	40 – 80
Pengaturan tiga-fase	50 – 100
Pengaturan empat-fase	80 - 130

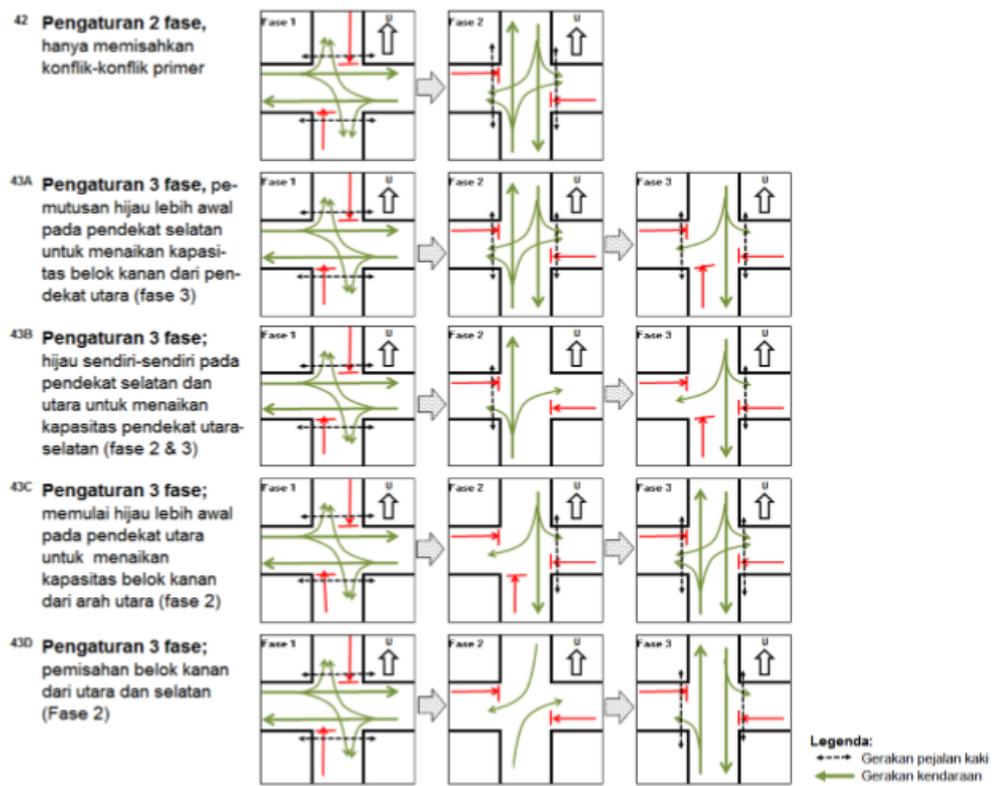
(Sumber: PKJI, 2014)

## 7. Fase

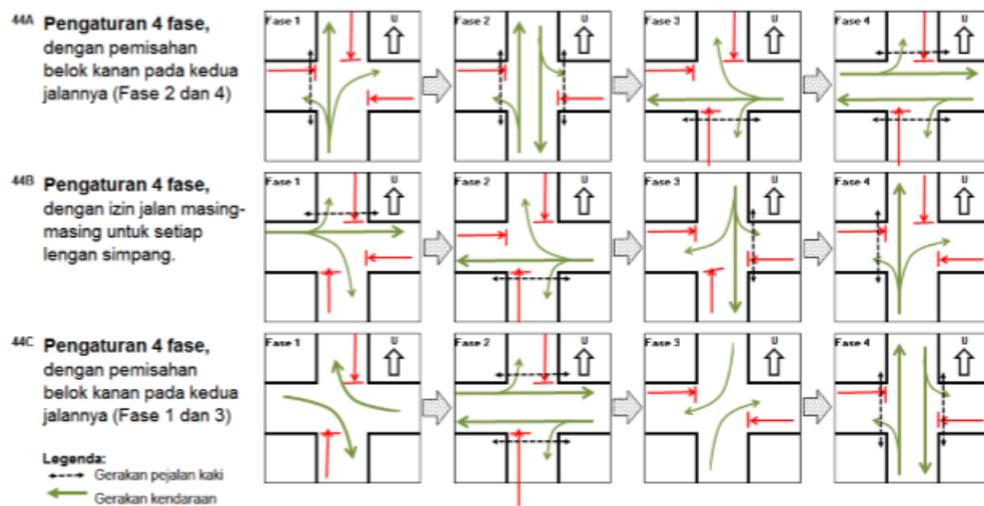
Menurut Munawar (2009) fase adalah suatu rangkaian dari kondisi yang diberlakukan untuk suatu arus atau beberapa arus, yang mendapatkan identifikasi lampu lalu lintas yang sama. Adapun contoh fase sebagai berikut:



Gambar 3.4 Tipikal pengaturan fase APILL pada simpang-3  
 (Sumber: PKJI, 2014)



Gambar 3.5 Tipikal pengaturan fase APILL pada simpang-4  
 (Sumber: PKJI, 2014)



Gambar 3.6 Tipikal pengaturan fase APILL pada simpang-4 dengan 4 fase  
 (Sumber: PKJI, 2014)

## 8. Tingkat Pelayanan

Kinerja suatu simpang dapat ditentukan dengan memperhatikan panjang antrian dan tundaan yang terjadi dan juga derajat kejenuhan  $\leq 0,85$ . Peraturan Menteri No. 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas memuat beberapa indikator yang harus terpenuhi dalam tingkat pelayanan, meliputi rasio antara volume dan kapasitas jalan, kecepatan yang merupakan kecepatan batas atas dan batas bawah yang ditetapkan berdasarkan kondisi daerah, waktu perjalanan, kebebasan bergerak, keamanan, ketertiban, kelancaran, serta penilaian pengemudi terhadap kondisi arus lalu lintas. Adapun tingkat pelayanan disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3.3 Tingkat pelayanan pada simpang APILL

<b>Tingkat Pelayanan</b>	<b>Tundaan menurut PM No. 96 Tahun 2015 (det/skr)</b>	<b>Tundaan menurut HCM 2010 (det/kend)</b>
A	$\leq 5,0$	$\leq 10$
B	5,10 - 15,0	$> 10 - 20$
C	15,1 - 25,0	$> 20 - 35$
D	25,1 - 40,0	$> 35 - 55$
E	40,1 - 60,0	$> 55 - 80$
F	$> 60$	$> 80$

(Sumber: PM No. 96 Tahun 2015 dan HCM 2010)

### E. Biaya Kemacetan

Kemacetan terjadi ketika volume lalu lintas melebihi kapasitas jalan atau simpang. Penambahan kendaraan menyebabkan tundaan, waktu perjalanan menjadi lebih lama, dan mengakibatkan kenaikan biaya transportasi. Kondisi ini menyebabkan adanya eksternalitas dan digunakan sebagai dasar argumentasi rencana penerapan biaya kemacetan. Pengurangan kemacetan lalu lintas merupakan salah satu target utama dalam kebijakan transportasi. Hal ini diperlukan mengingat kerugian ekonomi yang disebabkan akibat adanya kemacetan lalu lintas yang sangat besar. Tundaan perjalanan mengurangi produktifitas ekonomi dan kualitas kehidupan. Kemacetan lalu lintas yang semakin meningkat menimbulkan biaya sangat tinggi di berbagai negara termasuk di Indonesia (Sugiyanto, 2012).

Adapun dalam menghitung biaya kemacetan menggunakan rumusan model yang telah dijelaskan oleh Tzedakis (1980) sebagai berikut:

$$C = N \times \left[ GA + \left( 1 - \frac{A}{B} \right) V' \right] T \quad (3.1)$$

Keterangan:

C : Biaya Kemacetan (Rupiah)

N : Jumlah Kendaraan (Kendaraan)

G : Biaya Operasional Kendaraan (Rp/Kend.Km)

A : Kendaraan dengan Kecepatan eksisting (Km/Jam)

B : Kendaraan dengan Kecepatan Ideal (Km/Jam)

V': Nilai Waktu Perjalanan Kendaraan Cepat (Rp/Kend.Jam)

T : Jumlah Waktu Antrian (Jam)

Kecepatan ideal (rencana) adalah kecepatan yang dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan yang memungkinkan kendaraan-kendaraan bergerak dengan aman dan nyaman dalam kondisi cuaca yang cerah, lalu lintas yang lengang, dan pengaruh samping jalan yang tidak berarti (Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997).

Tabel 3.4 Kecepatan rencana  $V_r$ , sesuai fungsi dan klasifikasi medan jalan.

Fungsi	Kecepatan Rencana, $V_r$ km/jam		
	Datar	Bukit	Pegunungan
Arteri	70 – 120	60 – 80	40 - 70
Kolektor	60 – 90	50 – 60	30 – 50
Lokal	40 – 70	30 – 50	20 - 30

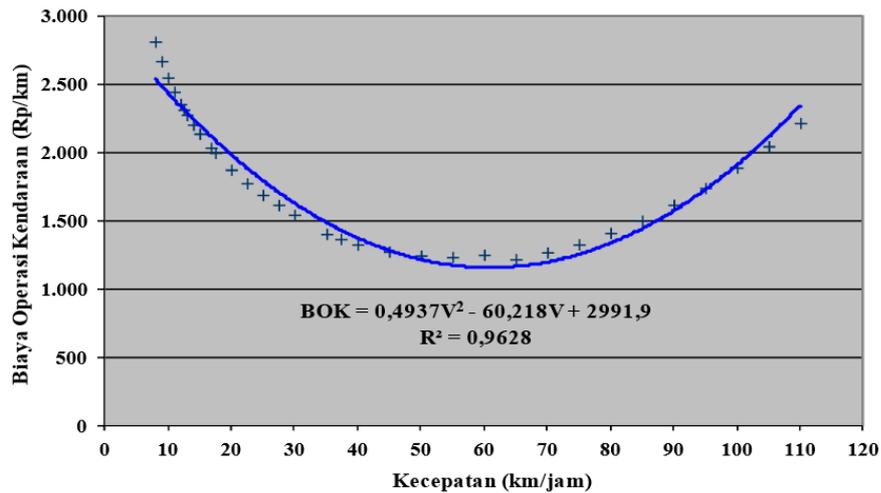
(Sumber: TCPGJAK, 1997)

### F. Biaya Operasional Kendaraan (BOK)

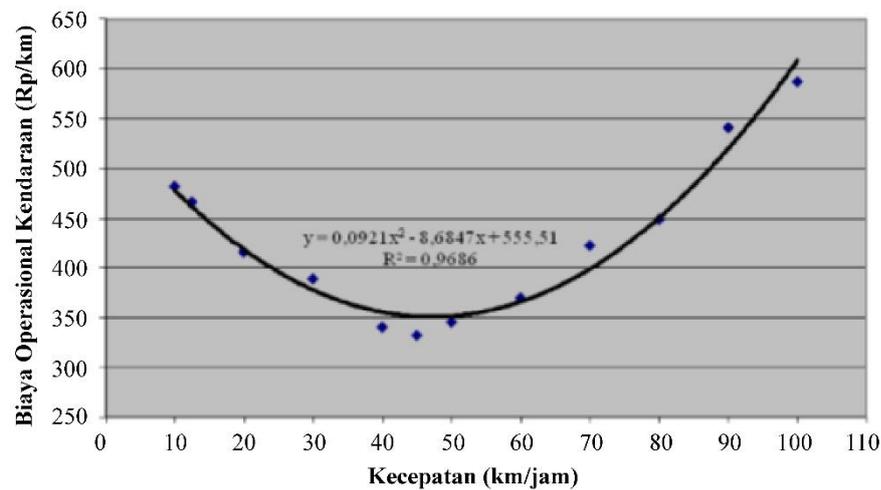
Sugiyanto (2010) menyatakan biaya operasi kendaraan adalah total biaya yang dikeluarkan oleh pemakai jalan dengan menggunakan moda tertentu dari zona asal ke zona tujuan. Biaya operasi kendaraan terdiri dari dua komponen yaitu biaya tetap dan biaya tidak tetap. Biaya tetap (*fixed cost*) adalah biaya yang tidak berubah (tetap walaupun terjadi perubahan pada volume produksi jasa sampai ke tingkat tertentu) sedangkan biaya tidak tetap (*variable cost*) adalah biaya yang berubah apabila terjadi perubahan pada volume produksi jasa.

Adapun menurut Basuki dan Siswadi (2008) biaya operasional kendaraan adalah biaya yang berkaitan dengan pengoperasian sistem transportasi tersebut, antara lain biaya pemakaian bahan bakar, oli, ban, dan biaya pemeliharaan dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Biaya Operasi Kendaraan merupakan salah satu komponen penting dari suatu proyek transportasi jalan raya, selain penghematan waktu, penurunan kecelakaan, oleh karena kebanyakan proyek jalan raya bertujuan untuk menurunkan biaya operasi kendaraan, penghematan waktu perjalanan dan menurunkan tingkat kecelakaan. Komponen manfaat proyek ini telah lama dikaji metode penghitungannya. Berbagai metode diusulkan oleh para project analysts, dari yang tersederhana sampai yang tingkat ketelitiannya tinggi.

Dalam Sugiyanto (2011, 2012) menjelaskan grafik hubungan antara kecepatan dan biaya operasional kendaraan (BOK) dengan hasil berupa nilai rupiah. Grafik hubungan antara kecepatan dan biaya operasional kendaraan (BOK) mobil pribadi dan sepeda motor, sebagai berikut:



Gambar 3.7 Hubungan kecepatan dan BOK mobil pribadi dengan Metode LAPI ITB  
 (Sumber: Sugiyanto, 2012)



Gambar 3.8 Hubungan antara kecepatan dan BOK sepeda motor  
 (Sumber: Sugiyanto dkk, 2011)

Adapun dari Gambar Grafik 3.7 dan 3.8 dapat di jabarkan persamaan hubungan antara kecepatan dan biaya operasional kendaraannya sebagai berikut:

1. Kendaraan Ringan

$$BOK = 0,4937(V)^2 - 60,218(V) + 2991,9 \quad (3.2)$$

Dengan  $V$  = Kecepatan kendaraan (km/jam)

2. Sepeda Motor

$$y = 0,0921(x)^2 - 8,6847(x) + 555,51 \quad (3.3)$$

dengan  $x$  = Kecepatan kendaraan (km/jam)

### G. Nilai Waktu (*Value of Time*)

Nilai waktu perjalanan yang dijelaskan oleh Fowkes (Sugiyanto, 2010) ialah biaya adanya hambatan perjalanan (*travel delay*) terhadap penumpang, dibuat berdasarkan tingkat pendapatan rumah tangga dan berbanding lurus dengan kecepatan. Sedangkan IHCM (dalam Sugiyanto, 2010) memuat bahwasanya terdapat dua pendekatan yang digunakan untuk menghitung nilai waktu yaitu berdasarkan Produk Domestik Bruto (PDB) dan berdasarkan tingkat kesejahteraan (*welfare maximation*). Perbedaannya adalah metoda tingkat kesejahteraan mengikutsertakan nilai waktu santai ke dalam analisisnya, sedangkan metoda PDB tidak mengikutsertakan nilai waktu santai. Nilai waktu setiap kendaraan sesuai dengan IHCM sebagai berikut.

Tabel 3.5 Nilai waktu per jenis kendaraan

Jenis Kendaraan	Nilai Waktu per Kendaraan/jam (Rp)	
	PDB	<i>Welfare maximation</i>
Sepeda motor	315,00	736,00
Mobil	1.925,00	3.281,00
Bus kecil	7.385,00	12.572,00
Bus besar	9.800,00	18.212,00
Truk kecil	4.970,00	5.605,00
Truk sedang	4.970,00	5.605,00
Truk besar	4.970,00	736,00

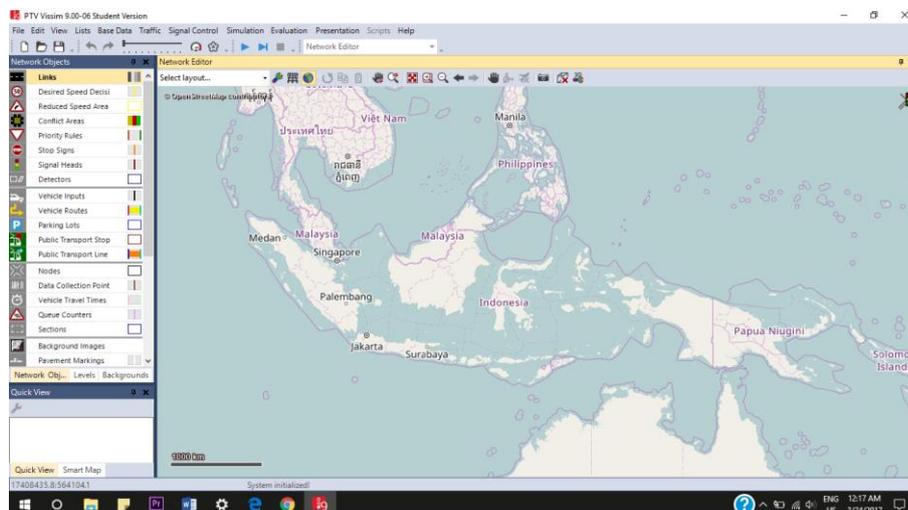
(Sumber: IHCM, 1995 dalam Sugiyanto, 2010)

Nilai Waktu Perjalanan dapat diartikan sebagai biaya akibat adanya hambatan perjalanan (*travel delay*) terhadap penumpang, dibuat berdasarkan tingkat pendapatan rumah tangga dan berbanding lurus dengan kecepatan (Basuki dan Siswadi, 2008).

## H. Pemodelan dengan Software Vissim

Model simulasi dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu makroskopik, mesoskopik dan mikroskopik. Makroskopik adalah simulasi jaringan transportasi secara *section-by-section*. Mikroskopik adalah simulasi pergerakan kendaraan individu dalam arus lalu lintas. Mesoskopik adalah model simulasi yang menggabungkan sifat makroskopik dan mikroskopik. Simulasi sistem transportasi kini semakin diminati karena kemudahannya dalam proses pergantian berbagai skenario dengan tetap melihat potensi yang dapat diimplementasikan di lapangan. *vissim* termasuk dalam perangkat lunak dengan kategori mikroskopik yang memiliki keunggulan yaitu dapat memodelkan berbagai jenis kendaraan termasuk sepeda motor dan kendaraan tidak bermotor (Hormansyah dkk, 2014).

*Vissim* atau *Verkehr Städten SIMulationsmodell* program yang dikembangkan oleh *Planung Transportasi Verkehr AG* (PTV) di Karlsruhe, Jerman. *Vissim* merupakan perangkat lunak yang dapat melakukan simulasi menyerupai kondisi di lapangan. Dalam hal ini *Vissim* menjadi alternatif atau alat bantu untuk mensimulasikan lalu lintas untuk keperluan rekayasa lalu lintas. Perangkat lunak *Vissim* juga dapat menampilkan berbagai jenis dan karakteristik kendaraan-kendaraan yang biasa digunakan sehari-hari, antara lain *vehicles* (mobil, bus, truk, sepeda motor, dan sepeda), *public transport* (tram, bus), dan pejalan kaki. Hasil dari perangkat lunak *vissim* berupa visual 3D dalam hal ini dapat menampilkan sebuah animasi yang realistis sesuai dengan yang telah dimodelkan.



Gambar 3.9 Tampilan awal *vissim* 9.0

Adapun Parameter *Vissim* 9.0 yang digunakan disajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 3.6 Parameter dan fungsi yang digunakan dalam pemodelan

No	Parameter yang Digunakan	Fungsi
1	<i>Scale</i>	Mengatur skala pada <i>vissim</i> sesuai dengan kondisi di lapangan.
2	<i>Links and Connectors Input</i>	Digunakan untuk memasukkan data geometrik jaringan jalan, seperti jumlah lajur dan lebar jalan.
3	<i>Vehicle Routes</i>	Mengatur rute perjalanan sesuai kondisi di lapangan.
4	<i>Vehicle Input</i>	Memasukkan jumlah volume arus lalu lintas (kend/jam) sesuai dengan hasil survei di lapangan.
5	<i>2D/3D Models / 2D/3D Model Segments</i>	Mengatur bentuk atau model 3 dimensi kendaraan yang akan melintas, misal mobi, bis, truk, dll.
6	<i>Vehicle Types</i>	Menggabungkan kendaraan dengan karakteristik mengemudi teknis berkendara serupa di jenis kendaraan.
7	<i>Vehicle Classes</i>	Menggabungkan jenis kendaraan dalam satu kelas kendaraan, kecepatan, evaluasi, dan pemilihan rute digabung dalam satu kelas kendaraan.
8	<i>Vehicle Composition</i>	Mengatur besaran persentasi tiap jenis kendaraan terhadap arus lalu lintas yang ada.
9	<i>Driving Behaviour</i>	Mengatur perilaku berkendara dan sesuai dengan jenis jaringan jalan, kategori kendaraan dan kelas kendaraan.
10	<i>Conflict Areas</i>	Mengatur konflik yang terjadi antar pengendara pada suatu jaringan jalan.

No	Parameter yang Digunakan	Fungsi
11	<i>Signal Control Tool</i>	Memodelkan suatu fase sinyal sesuai yang ada di lapangan.
12	<i>Signal Heads</i>	Menempatkan posisi sinyal atau APILL pada suatu simpang yang dimodelkan.
13	<i>Simulation Continious</i>	Merunning atau menjalankan hasil pemodelan (simulasi) yang telah dilakukan pada <i>vissim</i> .

Tabel 3.7 Parameter hasil analisis data (*node result*)

<i>Attribute</i>	Nama Panjang	Deskripsi
<i>Count</i>		Nomor urut
<i>Simrun</i>	<i>Simulation run</i>	Jumlah simulasi yang dijalankan
<i>TimeInt</i>	<i>Time interval</i>	Interval waktu data yang diolah
<i>Movement</i>	<i>Movement</i>	Pergerakan arus atau rute kendaraan dalam <i>link</i> yang meliputi asal perjalanan menuju tujuan perjalanan
<i>Qlen</i>	<i>Queue Length</i>	Panjang antrian rata-rata per interval waktu
<i>QlenMax</i>	<i>Queue Length Max</i>	Panjang antrian maksimum per interval waktu
<i>Vehs(All)</i>	<i>Vehicles (All)</i>	Jumlah kendaraan yang terekam
<i>Pers(All)</i>	<i>Persons (All)</i>	Total jumlah pengguna kendaraan
<i>LOS(All)</i>	<i>Level of service (All)</i>	Tingkat kualitas pelayanan simpang yang dinilai dengan huruf A sampai F dinilai dari nilai tundaan perkendaraan (det/kend) seperti diatur dalam <i>Highway Capacity Manual</i> (HCM) 2010. Simpang APILL: A $\leq$ 10 detik B > 10 sampai 20 detik

<i>Attribute</i>	<b>Nama Panjang</b>	<b>Deskripsi</b>
		<p>C &gt; 20 sampai 35 detik  D &gt; 35 sampai 55 detik  E &gt; 55 sampai 80 detik  F &gt; 80 detik</p> <p>Simpang:  A ≤ 10 detik  B &gt; 10 sampai 15 detik  C &gt; 15 sampai 25 detik  D &gt; 25 sampai 35 detik  E &gt; 35 sampai 50 detik  F &gt; 50 detik</p>
<i>LOSVAL(All)</i>	<i>Level-of-service value (All)</i>	Tingkat kualitas pelayanan simpang yang yang dinilai dari angka 1 sampai 6 sesuai dengan skema LOS yang sudah ditetapkan. 1 sesuai dengan A, 6 sesuai dengan F.
<i>VehDelay(All)</i>	<i>Vehicle Delay (All)</i>	Rata-rata jumlah waktu tundaan semua kendaraan pada satu rute perjalanan.
<i>PersDelay(All)</i>	<i>Person delay (All)</i>	Rata – rata tundaan dari semua pengguna kendaraan
<i>StopDelay(All)</i>	<i>Stop Delay (All)</i>	Rata – rata tundaan berhenti per kendaraan dalam hitungan detik tanpa berhenti di tempat parkir
<i>Stops(All)</i>	<i>Stops (All)</i>	Jumlah rata-rata kendaraan berhenti per kendaraan tanpa berhenti di tempat parkir.
<i>EmissionsCO</i>	<i>Emissions CO</i>	Jumlah karbon monoksida yang terbang (gram)
<i>EmissionsNOx</i>	<i>Emissions NOx</i>	Jumlah nitrogen oksida yang terbang (gram)

<b><i>Attribute</i></b>	<b>Nama Panjang</b>	<b>Deskripsi</b>
<i>EmissionsVOC</i>	<i>Emissions VOC</i>	Jumlah senyawa organik yang mudah menguap ( <i>volatile organic compounds</i> ) (gram)
<i>FuelConsumption</i>	<i>Fuel Consumption</i>	Jumlah bahan bakar yang terbuang ( <i>US Liquid gallon</i> ) (1US gal lqd = 3,785 liter)